

Verfahrenstechnik im Wandel

Brauer, Heinz Peter

Veröffentlicht in:
Jahrbuch 1988 der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.235-247



Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Verfahrenstechnik im Wandel

Von **Heinz Peter Brauer**

Verehrte Festversammlung!

Meine sehr geehrten Damen, meine Herren!

Ich erweise meinen tiefempfundenen Respekt
der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft,
ihrem Präsidenten
und ihren Mitgliedern.

Ich sage Dank für die hohe Ehrung und verspreche, mich zu bemühen, den Erwartungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gerecht zu werden, die sie noch für die Zukunft in mich setzt.

Ich werde im folgenden über die Verfahrenstechnik sprechen, an deren Gestaltung ich in den vergangenen 35 Jahren habe mitwirken dürfen.

1. Einleitung

Verfahrenstechnik ist, wie bereits ausgeführt, die Technik der Stoffveredlung durch Stoffwandlung mittels physikalischer, chemischer und biologischer Verfahren. Die Betonung liegt hierbei auf dem Wort „Technik“. Denn die Bedingungen der Technik, unter denen die Wandlungsprozesse verlaufen müssen, sind mit den Bedingungen der Laboratorien, in denen der Physiker, der Chemiker und der Biologe arbeiten, nicht identisch. Die vom Physiker, Chemiker und Biologen erarbeiteten Erkenntnisse müssen durch technikwissenschaftliche Erkenntnisse ergänzt werden, um eine wissenschaftlich genügend gesicherte Grundlage zur Realisierung technischer Ziele zu haben. Des Verfahrensingenieurs Aufgaben bestehen also darin, die technikwissenschaftlichen Grundlagen der Wandlungsprozesse zu erarbeiten und die technischen Ziele zu realisieren.

Technik ist in diesem Sinne ein Synonym für Systeme mit im allgemeinen hohem Komplexitätsgrad. Das System faßt Elemente verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen und Erfahrungen zusammen. Es wird von den Regeln der Systemtechnik beherrscht, deren sich der Verfahrensingenieur bedienen muß. Dieses System begründet aber auch eine für die Verfahrenstechnik charakteristische Eigenschaft: das Arbeiten in Partnerschaften [1], [2].

Bei all seinen Aufgaben zur Realisierung technischer Ziele ist der Verfahrensingenieur partnerschaftlich verbunden mit

dem Physiker,
dem Chemiker und
dem Biologen.

Das Arbeiten in Partnerschaften hat der Verfahrenstechnik einen sehr dynamischen Wandel verliehen.

Wandel ist des Lebens Merkmal. Wenn ich hier von der „Verfahrenstechnik im Wandel“ spreche, dann heißt das also, daß ich von einer lebendigen, einer sehr lebendigen und wandlungsfähigen Ingenieurdisziplin spreche.

Wandel der Verfahrenstechnik wird durch neue Ziele herausgefordert, die durch die Natur- und Technikwissenschaften angeregt werden können oder gesellschaftspolitisch erzwungen wurden. Die Akzeptanz dieser neuen Ziele muß durch die Gesellschaft in jedem Falle gewährleistet sein.

Die Realisierung neuer Ziele erfordert die volle Innovationskraft aller an diesem Prozeß beteiligten Menschen, erfordert den Einsatz ihrer Kreativität.

2. Die Aufgaben der Verfahrenstechnik

Um den Wandel in der Verfahrenstechnik aufzeigen zu können, möchte ich das Arbeitsfeld des Verfahrensingeniurs in großen Linien kennzeichnen.

Die Verfahrenstechnik liefert einen Beitrag zur Erfüllung der essentiellen materiellen Bedürfnisse des Menschen. Diese Bedürfnisse sind folgende:

1. Ernährung
2. Gesundheit
3. Energie
4. Rohstoffe
5. Kommunikation
6. Anthropophile Umwelt

Keines dieser essentiellen Bedürfnisse ist von sensationeller Art. Zählt man zu den Bedürfnissen des Menschen sensationelle, so wird eine Überprüfung ergeben, daß diese nicht essentiell, nicht lebensnotwendig sind. Bemerkenswert an dieser Liste der materiellen Bedürfnisse ist jedoch, daß sich eine so dynamische Ingenieursdisziplin wie die Verfahrenstechnik der Erfüllung der Grundbedürfnisse des Menschen widmet.

Mit wenigen Stichworten sollen die Beiträge der Verfahrenstechnik angedeutet werden.

Zur Ernährung: Die Verfahrenstechnik wirkt in entscheidendem Maße an der industriellen Verarbeitung und Veredlung von Nahrungsmitteln mit. Es ist dieser Industrialisierungsprozeß, der unsere Ernährung in qualitativer und quantitativer Hinsicht auf hohem Niveau sichert. Laut Feststellung der FAO kommen etwa $\frac{2}{3}$ aller Feldfrüchte auf dem Feld, während der Lagerung und während des Transportes um. Die Verfahrenstechnik widmet sich der Produktion von Kunstdünger, Insektiziden und Herbiziden ebenso wie Verfahren zur verlustarmen Lagerung und verlustfreiem Transport. Neue technische Verfahren zielen auf die Kultivierung pflanzlicher Zellen in technischen Anlagen zur Produktion zusätzlicher Nährstoffe, die frei von authropogener Kontamination sind.

Zur Gesundheit: Der Beitrag der Verfahrenstechnik zur Aufrechterhaltung und Wiederherstellung der Gesundheit des Menschen besteht vornehmlich in der Produktion von Medikamenten in der pharmazeutischen Industrie. Aber auch in der Herstellung künstlicher Organe wie Niere und Herz ist die Verfahrenstechnik engagiert.

Zur Energie: Der Mensch als Kulturschaffender und Kulturträger benötigt mehr Energie als er selbst physisch zur Verfügung stellen kann. An der Wiege der europäischen Kultur standen daher auch Heerscharen von Sklaven, die den Energiebedarf zu decken hatten. Die Verfahrenstechnik hilft sowohl bei der Entwicklung von Energiewandlungsverfahren mit erheblich gesteigertem energetischem Wirkungsgrad als auch bei der Erschließung und Nutzung periodisch regenerierter, natürlicher Energieträger.

Zu Rohstoffe: Der Bau von Maschinen und Apparaten, von Fahrzeugen aller Art, von Straßen und Häusern sowie die Produktion aller Konsumgüter erfordert Rohstoffe, deren Gewinnung, Aufbereitung und Veredlung Aufgabe der Verfahrenstechnik ist. Aber auch der Ergänzung und dem Ersatz herkömmlicher Rohstoffe durch regenerierbare, landwirtschaftliche Vorprodukte hat sich die Verfahrenstechnik verschrieben.

Zur Kommunikation: Die kulturelle Entwicklung der Menschheit ist an ein Leben in der Gemeinschaft gebunden. Anders ausgedrückt, die kulturelle Entwicklung erfordert die Kommunikation des Menschen mit dem Menschen. Geistige und materielle Güter müssen zu diesem Zweck transportiert werden. Die Verfahrenstechnik liefert hierzu vielfältige Beiträge. Hingewiesen sei auf die großen Möglichkeiten des Rohrleitungstransportes für Erdöl und Erdgas, für Erze und Kohle in feinkörniger Form sowie für zahlreiche Produkte wie Mehl, Zement usw. Zum Zwecke der Kommunikation widmet sich die Verfahrenstechnik aber auch der Produktion von Papier, Ton- und Bildbändern.

Zur anthropophilen Umwelt: Die Verfahrenstechnik liefert vielfältige Beiträge zum Schutz und zur Gestaltung einer menschenfreundlichen Umwelt. Durch die Entwicklung neuer Stoff- und Energiewandlungsverfahren trägt die Verfahrenstechnik dazu bei, daß weniger Schadstoffe produziert, oder, soweit unvermeidbar, in einer solchen Form produziert werden, daß sie leicht abgeschieden werden können und nicht mit den Trägermedien in die Umwelt gelangen. Ferner entwickelt, baut und betreibt die Verfahrenstechnik alle jenen Anlagen, in denen die in Abgasen und Abwasser enthaltenen Schadstoffe abgeschieden werden. Sowohl für die Aufgaben der Abgas- und Abwasserreinigung als auch der Abfallaufarbeitung und der Bodensanierung werden in zunehmendem Maße Mikroorganismen als chemische Reaktoren eingesetzt.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß die Verfahrenstechnik bedeutsame Beiträge zur Deckung der essentiellen materiellen Bedürfnisse des Menschen liefert. Die Verfahrenstechnik ist also in besonders deutlicher Weise ein Teil der „Technik für den Menschen“. Das Leben des Menschen zu erleichtern und zu verbessern, ihm mehr Freiheit zu beschaffen, ist das vornehmste Anliegen der Verfahrenstechnik.

Die Sicherung der Ernährung
gewährleistet dem Menschen die „Freiheit von Hunger“.

Die Sicherung der Gesundheit
gewährleistet dem Menschen die „Freiheit von Seuchen“.

- Die Sicherung der Energieversorgung
gewährleistet dem Menschen die „Freiheit von der Fron“.
 - Die Sicherung der Rohstoffversorgung
gewährleistet dem Menschen die „Freiheit von materieller Not“.
 - Die Sicherung der Kommunikation und des Transportes
gewährleistet dem Menschen die „Freiheit von der Vereinsamung und der Isolierung“.
 - Die Sicherung der anthropophilen Umwelt
gewährleistet dem Menschen die „Freiheit vom Druck der Umwelt“.
- Die Verfahrenstechnik ist dem Menschen und der Sicherung seiner Würde verpflichtet.

3. Der Wandel der Verfahrenstechnik

Die Bedürfnisse des menschlichen Daseins werden sich kaum ändern, wohl aber die Wege, die zu ihrer Erreichung eingeschlagen werden. Die Wege führen in die Zukunft, die vorherzusagen uns jedoch verwehrt bleibt. Die Zukunft gehört der nächsten Generation. Wir begeben uns auf Wege, von denen wir also nicht sicher sind, wie weit sie in die Zukunft führen, von der kommenden Generation weiter verfolgt. Unsere Wege sind mit viel Unsicherheit behaftet. Dieser Situation müssen wir uns bewußt sein, wenn wir von Wandel, von neuen Wegen sprechen.

Unsere heutigen Erkenntnisse, Ergebnisse intensiver Forschung, legen uns eine Orientierung nahe, die sich auf folgende neue Fachgebiete als Grundlage zur Erfüllung essentieller menschlicher Bedürfnisse stützen:

- Lebensmittel-Verfahrenstechnik
- Medizin-Verfahrenstechnik
- Energie-Verfahrenstechnik
- Rohstoff-Verfahrenstechnik
- Kommunikations/Transport-Verfahrenstechnik
- Umwelt-Verfahrenstechnik

Diese bedürfnisorientierten Fachgebiete werden von folgenden methodenorientierten Gebieten durchdrungen, die den Wandel der Verfahrenstechnik noch deutlicher machen. Es handelt sich um folgende Gebiete:

1. Bioverfahrenstechnik
2. Dynamik und Simulation verfahrenstechnischer Prozesse und Anlagen
3. Regelung verfahrenstechnischer Prozesse und Anlagen
4. Sicherheitstechnik
5. Emissionsminderungs- und Sanierungstechnik
6. Innovationstechnik

Auf jedes der Gebiete wird im folgenden näher eingegangen.

4. Bioverfahrenstechnik

Bioverfahrenstechnik ist die Technik und die Ökonomie der Stoffwandlung mittels biologischer Verfahren, bei denen Mikroorganismen, pflanzliche und tierische Zellen sowie Enzyme verwendet werden. Die Bioverfahrenstechnik schließt sowohl die prozeßtechnische, als auch die geräte- und anlagentechnische Seite ein [3].

Unter dem Eindruck neuer mikrobiologischer Erkenntnisse und daraus abgeleiteter technischer Möglichkeiten stand zunächst die Entwicklung und technische Nutzung mikrobieller Prozesse im Vordergrund aller Überlegungen. Diese Prozesse werden im allgemeinen in Bioreaktoren durchgeführt, die weder den Möglichkeiten der modernen Verfahrenswissenschaften noch den Anforderungen der Technik gerecht werden. Die moderne, fortschrittliche prozeßtechnische Entwicklung muß sich unbedingt mit einer ebenso fortschrittlichen gerätetechnischen Entwicklung verbinden, die auf der Grundlage neuester Erkenntnisse der Ingenieurwissenschaften möglich ist.

Der gerätetechnischen Entwicklung stehen einige gewichtige, gut fundierte Argumente entgegen. Bei der Produktion sehr hochwertiger Stoffe, die nur in sehr geringer Menge benötigt werden, sind die gerätespezifischen Kosten für die Gesamtkosten häufig von sehr geringer Bedeutung. Die prozeßtechnischen Risiken, insbesondere durch die Steriltechnik bedingt, sind bei derartigen Produktionen sehr groß. Aus diesem Grunde versucht man, die gerätetechnischen Risiken, die mit der Geräteentwicklung zwangsläufig verbunden sind, möglichst gering zu halten. Man bemüht sich, Altbewährtes zu erhalten und lediglich in kleinen Schritten neuen Anforderungen anzupassen. Man geht bewußt den langen Weg der evolutionären Entwicklung und vermeidet jede revolutionäre Entwicklung, unabhängig davon, wie weit diese durch ingenieurwissenschaftliche Erkenntnisse ermöglicht wird.

Ganz anders sieht die Situation jedoch aus, wenn die bioverfahrenstechnische Anlage für große Durchsätze geplant ist; sei es für die Herstellung von Massenprodukten, sei es für die Weiterverarbeitung des bei der Produktion anfallenden Abwassers.

Die Herstellung von Massenprodukten auf der Grundlage von agrarischen Rohstoffen wird wahrscheinlich erst dann von großtechnischer Bedeutung werden, wenn beispielsweise Äthanol als Grundstoff für die chemische Industrie oder als Treibstoffzusatz Interesse findet. Zu dem Problem der nachwachsenden Rohstoffe und Bioäthanolproduktion hat sich der Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Dezember 1986 in Düsseldorf vor der Wirtschaftspublizistischen Vereinigung unter anderem wie folgt geäußert:

„Diversifizierung der Rohstoffe und Energieversorgung auch mit Hilfe der nachwachsenden Rohstoffe“ ist eine anerkannte Herausforderung unserer Zeit. „Wir müssen heute den Grundstein dafür legen, daß wir morgen alle Möglichkeiten der Energieversorgung mit agrarischen Energieträgern ausschöpfen können. Dies betrachte ich als sinnvolle Vorsorgestrategie, um für eine veränderte energiewirtschaftliche – ebenso wie für eine veränderte rohstoffwirtschaftliche – Situation gewappnet zu sein.“

„Werden dem Benzin nur 3% Agraralkohol beigemischt, würden allein in der Bundesrepublik Deutschland jährlich $1,15 \cdot 10^6$ t Benzin gespart werden. Gleichzeitig

können 360.000 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche für Energiepflanzen eingesetzt werden.“

Die Wirtschaftlichkeit der Produktion von Bioäthanol ist, so wird allgemein anerkannt, heute nicht gegeben. Indes ist dabei zu beachten, daß die Wirtschaftlichkeit dieses in die Zukunft projizierten Prozesses mit einer bewährten Technik von Gestern ermittelt wurde. Ersetzt man daher die Technik von Gestern durch eine noch zu entwickelnde Technik von Morgen, dann wird die Frage nach der Wirtschaftlichkeit des Prozesses wahrscheinlich eine ganz andere Antwort erhalten.

Das Für und Wider der Produktion von Bioalkohol erhielt einen weiteren förderlichen Aspekt, wenn man einen Anteil der heute üblichen Subvention der Landwirtschaft für eine begrenzte Zeit zur Unterstützung der Produktion von Bioalkohol verwenden würde.

Hinsichtlich technischer Großanlagen für mikrobielle Reaktionen liefern die seit vielen Jahrzehnten erfolgreich betriebenen biologischen Kläranlagen ein gutes Beispiel. Seit in den sechziger Jahren industrielle Abwässer erfolgreich biologisch gereinigt werden, hat die biologische Abwasserreinigung eine sehr stürmische Entwicklung genommen. Heute stehen Hochleistungsanlagen in der technischen Erprobung, die den herkömmlichen Anlagen hinsichtlich der Klärleistung je Volumeneinheit mindestens um das Zehnfache überlegen sind. Derartige Hochleistungs-Bioreaktoren konnten nur auf der Grundlage intensiver und erfolgreicher verfahrenstechnischer Forschung über die Stoffumsetzung der Mikroorganismen, über den Eintrag von Sauerstoff in das Abwasser, über die Verteilung der Mikroorganismen und des Sauerstoffs im Bioreaktor, über Schaumbildung und Schaumzerstörung und über den erforderlichen Energieaufwand entwickelt werden. Die Bioverfahrenstechnik hat ihre erste Bewährungsprobe bei der biologischen Abwasserbehandlung bestanden. Ihre Bewährungsprobe bei der biologischen Produktion von Massengütern steht noch bevor. Dabei müssen die Probleme der Sterilität beachtet werden, die sowohl für den Bau der Geräte und Anlagen, als auch für die Prozeßführung von großer Bedeutung sind.

Die biologische Stoffwandlung ist prinzipiell nur eine besondere Form der chemischen Stoffwandlung. Die Attraktivität der biologischen Stoffwandlung liegt jedoch darin, daß sie angenähert bei Umgebungstemperatur und normalem Druck stattfindet. Im Vergleich dazu erfordern chemische Stoffwandlungen ein Temperaturniveau zwischen etwa 400° C und 1200° C. Zusätzlich muß in vielen Fällen zur Erzielung technisch und wirtschaftlich günstiger Reaktionsbedingungen, der Druck erheblich über den Normalzustand erhöht werden. Es sind diese Stoffwandlungsbedingungen, die für den hohen Energieaufwand der chemischen Industrie verantwortlich sind [4].

Den hohen Energieaufwand der stoffwandelnden Industrie erheblich zu senken, ist eine der großen Chancen, die die Bioverfahrenstechnik bietet. Nicht minder groß ist die Chance zur Herabsetzung des Rohstoffeinsatzes. Der biologische Prozeß kann zielgerichteter verlaufen, so daß neben den Zielprodukten eine im Vergleich zu normalen chemischen Prozessen verminderte Menge an Abprodukten oder Reststoffen anfällt. Die biologische Stoffwandlung kann also auch dazu beitragen, weniger Schadstoffe in die Umwelt zu emittieren.

Die Vorteile mikrobieller Stoffwandlungen sind im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die für die Stoffwandlung maßgebenden organischen Katalysatoren, die Enzyme, einen Jahrtausenden dauernden Optimierungsprozeß evolutionär durchlaufen haben und dabei ein für natürliche Prozesse verbindliches Optimum erreicht haben. Ob dieses für natürliche Bedingungen der Stoffwandlung geltende Optimum mit dem für technische Bedingungen möglichen Optimum übereinstimmt, ist zumindest unsicher. Eine zuverlässige Aussage hierüber erforderte vollkommene Beherrschung aller für den Mikroorganismus wichtigen Vorgänge, also eine Beherrschung dessen, was wir Leben nennen [5].

Wie wenig wir von den Eigenschaften, dem Verhalten lebender Wesen kennen und beherrschen, beweist uns das Geschehen während eines jeden Tages. Die Verfahrenstechnik ist durch den Einsatz von Mikroorganismen, den Kleinstlebewesen, für die Durchführung technischer Stoffwandlungen vor vollkommen neuartige Aufgaben gestellt. Wir müssen berücksichtigen, daß wir mit Organismen arbeiten, deren Verhalten durch ein Entscheidungszentrum gesteuert wird, zu dem wir noch keinen Zugang gefunden haben. Wir kennen daher auch noch gar nicht alle Möglichkeiten, die in den Mikroorganismen angelegt sein können.

Dieses eben geschilderte Unwissen wird hinsichtlich seiner Auswirkungen auf technische Prozesse jedoch gemildert, da die Lebensdauer und die Regenerationszeit sehr kurz sind. Die Anpassung an bisher ungewohnte, also technische Bedingungen wird dadurch gefördert.

Im Vordergrund des Interesses stehen für die Verfahrenstechnik zur Zeit insbesondere die Versorgung der Mikroorganismen mit allen erforderlichen Nährstoffen. Das Versorgungsproblem ist um so schwieriger zu lösen, je größer die Zahl der Mikroorganismen in einem bestimmten Volumenelement des Bioreaktors ist. Unter den Bedingungen, die wir üblicherweise in dem von uns betriebenen Reaktor haben, würden in einem Volumen von etwa 32 cm^3 , das entspricht etwa dem Volumen einer Mokkatasse, bis zu 1000 Milliarden Bakterien antreffen. Das sind in diesem kleinen Volumen bereits 200 mal so viele Bakterien als Menschen auf der Erde sind. Der Verfahrensingenieur muß das technische Gerät so gestalten und betreiben, daß alle Bakterien gleichmäßig versorgt werden können. Die Lösung dieses Problems wird dadurch erleichtert, daß die Bakterien außerordentlich klein sind. Ihr Durchmesser beträgt $0,4 \text{ }\mu\text{m}$. Von diesen Bakterien müßte man 2500 dicht nebeneinander legen, um eine Länge von nur einem Millimeter zu erhalten.

Aufgrund der winzigen Abmessungen der Mikroorganismen ist, trotz ihrer außerordentlich großen Zahl je Volumeneinheit, die Menge an produziertem Stoff in diesem Volumen sehr gering. Diese sehr geringe Menge muß durch sehr aufwendige Verfahren aus dem Wasser herausgeholt werden. Es ist dieses Trennverfahren, das die Vorteile biologischer Produktionen wieder aufzuheben droht. Es ist daher unbedingt erforderlich, technische Verfahren so zu gestalten, daß die Konzentration des Zielproduktes im Wasser, das für die Organismen der Lebensraum ist, durch geeignete Maßnahmen erhöht wird [6].

Auf dieser Linie ließen sich noch zahlreiche andere Probleme anführen, die von der Verfahrenstechnik gelöst werden müssen und die den Wandel der Verfahrenstechnik bestimmen. Dieser Weg soll hier aber nicht weiter verfolgt, sondern auf andere Fachgebiete verwiesen werden, die den Wandel der Verfahrenstechnik nicht minder stark beeinflussen.

5. Dynamik, Regelung und Sicherheit verfahrenstechnischer Prozesse und Anlagen

Alles technische Geschehen ist ein dynamischer Prozeß, in dem sich maßgebende Parameter nach festen Regeln abhängig von der Zeit ändern, um für eine bestimmte Zielgröße vorgeschriebene Eigenschaften sichern zu können. Die Dynamik des Prozesses wird durch die Regelungstechnik unter Kontrolle gehalten [7], [8]. Je stärker die Dynamik des Prozesses ausgeprägt ist, desto größer sind die Anforderungen an die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Anlage [9].

Dynamik, Regelung und Sicherheit technischer Anlagen sind entscheidende Aspekte einer Systemtechnik. Hinzunehmen müßte man zu diesem Block noch die Emissionsminderungstechnik. Da sie jedoch sehr verschiedene Möglichkeiten zur Erreichung ihres Zieles bildet, ist eine gesonderte Behandlung zweckmäßig.

Bis in die Gegenwart war die Verfahrenstechnik vor allem mit der Gestaltung stationärer Prozesse befaßt. Erst in jüngster Zeit ist die Verfahrenstechnik gezwungen, instationäre, zeitlich mehr oder weniger schnell veränderliche Stoff- und Energiewandlungsprozesse zu gestalten und zielgerecht zu führen. Diese Wandlung wird durch sich ändernde weltwirtschaftliche Bedingungen, durch ein neues System der Arbeitsteilung zwischen Ländern unterschiedlichen Industrialisierungsgrades, aber auch durch Einführung vollkommen neuer Stoffwandlungsprozesse auf der Grundlage von Mikroorganismen herbeigeführt.

Um den zeitlichen Ablauf dynamischer Prozesse vorherbestimmen zu können, bedient man sich den Prozeß vereinfachender Modelle, die man mathematisch beschreiben kann. Der Prozeß wird in dieser Weise simuliert. Die Prozeßsimulation kann beispielsweise dazu dienen, in Hinblick auf eine Zielgröße zu optimieren. Zielgrößen sind beispielsweise die Qualität und Menge des Produktes, oder der Aufwand an Rohstoffen und Energie.

Das Modell kommt dem realen Prozeß um so näher, je genauer die Kenntnisse über zeitlich veränderliche Strömungen, Wärme- und Stofftransportprozesse sowie chemische und biologische Reaktionen sind. Unsere bisherigen Kenntnisse über die sogenannten Transport- und Reaktionsprozesse stützen sich vornehmlich auf stationäre Vorgänge.

Die von Prandtl begründete Strömungslehre ist im wesentlichen eine Lehre von den stationären Strömungen. Der Wandel der Verfahrenstechnik erfordert eine gründliche Untersuchung der instationären Strömungen für die verfahrenstechnisch bedeutsamen Fälle der Umströmung von Körpern und Platten und der Durchströmung von Kanälen mit unterschiedlich geformten Strömungsquerschnitten. Kaum anders verhält es sich mit der Wärmeübertragung. Die von Nußelt begründete konvektive Wärmeübertra-

gung ist im wesentlichen eine stationäre Wärmeübertragung. Gesetze für den instationären konvektiven Wärmetransport müssen erst noch erarbeitet werden. Dabei kommt erschwerend hinzu, daß der instationäre Wärmetransport sowohl mit einer stationären, als auch mit einer instationären Strömung verbunden sein kann. Ganz ähnliche Bedingungen gelten auch für die Stoffübertragung; Erschwernisse ergeben sich zusätzlich dann, wenn der Stofftransport mit chemischen Reaktionen verbunden ist.

Von besonderer Bedeutung sind für die Verfahrenstechnik die mehrphasigen Strömungen und die damit verbundenen Prozesse der Wärme- und Stoffübertragung ohne und mit chemischen Reaktionen. Aber auch alle solche Verfahren, mit deren Hilfe die Emission von Schadstoffen gemindert werden soll, bedürfen der Untersuchung unter instationären Bedingungen. Von besonderer Bedeutung sind hierbei die Entstaubungsverfahren. Es gilt sowohl die Untersuchung des instationären Verhaltens der herkömmlichen Einrichtungen sowie der Weiterentwicklung neuartiger Entstauber, die den instationären Betriebsbedingungen besser angepaßt sind.

Die verschiedenartigen instationären, dynamischen Prozesse fordern von der verfahrenstechnischen Forschung eine neue Orientierung. Experimentelle und theoretisch-numerische Methoden, letztere sicherlich in steigendem Maße, müssen zur Lösung der Probleme herangezogen werden. Die Lösung der mit dynamischen Prozessen verbundenen Probleme ist sicherlich ebenso aufwendig wie die Lösung der bioverfahrenstechnischen Probleme.

6. Emissionsminderungs- und Sanierungstechnik

Die verfahrenstechnisch orientierte Industrie hat bei der Entwicklung von technischen Verfahren zur Minderung schädlicher Emissionen stets eine wichtige Rolle gespielt [10]. Als Beispiel sei an die Entwicklung des Elektrofilters durch Cottrell zu Beginn dieses Jahrhunderts erinnert. Das Ziel dieser Entwicklung war die Abscheidung von Nebeltröpfchen hinter einer Anklage zur Erzeugung von Schwefelsäure.

Die Entwicklung von Prozessen und Geräten zur Minderung schädlicher Emissionen ist nicht nur in der Vergangenheit ein bedeutsames Problem der Verfahrenstechnik gewesen, es wird ein noch bedeutsameres Problem für die Zukunft sein. Die ungeheuren Ausgaben für die Erforschung der Ausbreitung und der Wirkung von emittierten Schadstoffen sowie für ihre meßtechnische Verfolgung lassen sich nur in Grenzen halten und wieder herabsetzen, wenn es gelingt, die Schadstoffemissionen weiterhin nachhaltig herabzusetzen. Dieses muß aber keineswegs allein durch Prozesse und Geräte zur Abscheidung erfolgen. Viel bedeutsamer ist die Forderung, die Produktion von Schadstoffen so weit wie möglich einzustellen. Es müssen also emissionsarme stoff- und energiewandelnde Prozesse und zugehörige Geräte entwickelt werden [11].

Die in jüngster Zeit verschärfte Diskussion über Schadstoffemissionen ist vor allem durch Erkenntnisse über die Akkumulation von Schadstoffen in Organismen und über ihre Langzeitwirkungen ausgelöst. Aufgrund der Schadstoffakkumulation verliert die Höhe der Schadstoffkonzentration am Emissionsort ihre Bedeutung. Der durch Emissionen bedingte Schaden ist dann nur eine Frage seines zeitlichen Auftretens.

Bedeutende Emissionsschäden sind aber nicht nur beim Menschen, bei Flora und Fauna festzustellen, sondern ebenso bei Sachgütern. In vielen Fällen handelt es sich bei diesen um bedeutende Kulturdenkmäler. Mit ihnen würde ein Teil unserer kulturellen Vergangenheit dahinsterven.

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse und zur Verdeutlichung der Zukunftsaufgaben für die Verfahrenstechnik muß von folgenden Grundsätzen ausgegangen werden:

1. Jeder luftfremde, wasserfremde und bodenfremde Stoff ist ein potentieller Schadstoff, dessen Emission verhindert werden muß.
2. Die Konzentration eines Stoffes, der in der natürlichen Luft, im natürlichen Wasser und im natürlichen Boden vorhanden ist, darf durch anthropogene Tätigkeiten erhöht und dadurch zum potentiellen Schadstoff gemacht werden.

Gemäß diesen Grundsätzen ist es also außerordentlich schwierig, Grenzwerte für die Emissions- und Immissionskonzentration festzulegen, auch wenn diese nur für eine jeweils begrenzte Zeit gelten sollen, um den fortschreitenden Stand der Technik berücksichtigen zu können.

Als Zielsetzung für das Handeln des Verfahrensingenieurs ergibt sich: Absenkung der Emission potentieller Schadstoffe auf das technisch niedrigst mögliche Niveau mit den wirtschaftlichsten Mitteln. Hierfür stehen

rohstofftechnische,
hilfsstofftechnische,
produktionstechnische und
abscheidetechnische

Möglichkeiten grundsätzlich zur Verfügung. Die Minderung der Schadstoffemissionen ist also nicht nur ein Problem der Abscheidetechnik, sondern in steigendem Maße ein Problem der richtigen Auswahl der Rohstoffe, der begrenzten Verwendung von Luft und Wasser als Hilfsstoffe sowie der richtigen Auswahl und des optimalen Ablaufes des stoff- und energiewandelnden Produktionsprozesses. Erhöhter geistiger Aufwand zur emissionsgerechten Gestaltung dieser Teilprozesse setzt die Kosten für die Abscheidegeräte herab. Je wirkungsvoller die Maßnahmen im eigentlichen Produktionsprozeß sind, desto mehr wird das Abscheideproblem zu einem Spurstoffproblem. Die abzuscheidenden Schadstoffe treten nur in sehr geringen Konzentrationen auf.

Bei der technischen Lösung vieler Probleme wird die Bioverfahrenstechnik eine wichtige Rolle spielen. Die biologische Reinigung von Abwässern hat bereits erhebliche Fortschritte erlebt. Man darf jedoch davon ausgehen, daß damit erst ein hoffnungsvoller Anfang gemacht wurde. Die Reinigung der Abwässer am Ort ihrer Entstehung wird eine Fülle neuer technischer und mikrobiologischer Aufgaben stellen und dem Verursacherprinzip zum Durchbruch verhelfen. Eine vergleichbare Entwicklung auf dem Gebiet der biologischen Abluftreinigung ist sehr erwünscht. Sie erfordert den verstärkten Einsatz der Verfahrenstechnik. Alle neuen Aufgaben, deren Lösung die Minderung von Schadstoffemissionen zum Ziel hat, können durch den Einsatz der Innovationstechnik erfolgreicher bearbeitet werden.

Die Sanierungstechnik wendet sich insbesondere der Beseitigung von Schadstoffbelastungen im Erdreich, in Schlammablagerungen von Flüssen, Seen, Häfen und küstennahen Gewässern sowie der Beseitigung langsam fortschreitender Zerstörung von Bauwerken zu.

7. Innovationstechnik

Von Innovationen wird in diesem Beitrag nur gesprochen, so weit sie sich aus neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, aus Ergebnissen der Forschung ableiten lassen. In diesem Sinne ist

Innovation als Realisation wissenschaftlich begründeter Möglichkeiten aufzufassen. Demgemäß gilt also [12]:

Innovationstechnik ist die Methodik, die bei der Umwandlung wissenschaftlich begründeter Möglichkeiten in technische Realität angewendet werden kann.

Innovation ist das Schwungrad der Technik, sie verleiht der Technik die ihr spezifische Dynamik. Ohne eine kontinuierliche Erneuerung wird die Technik in Erstarrung verfallen, ja, ihre Existenz einbüßen. Dieses ist ein bedenkliches Zeichen für mangelnde Schöpfungskraft des Menschen. Für eine gewisse Zeit treibt das sich stetig langsamer drehende Schwungrad die Technik noch voran. Der Mensch fühlt sich aber nicht mehr als gestaltende und beherrschende Kraft, er fühlt sich in zunehmendem Maße bereits von der Technik getrieben und schließlich gar als Sklave der Technik.

Innovationen lassen sich in zwei große Gruppen aufteilen: Basis- und Folgeinnovationen. Es sind die Basisinnovationen, die sich auf die Ergebnisse der Forschung stützen, die zur Erneuerung technischer Prozesse, Geräte und Anlagen führen. Folgeinnovationen stützen sich dagegen vor allem auf praktische Erfahrungen, die zur Verbesserung bereits bekannter technischer Systeme führen.

Basisinnovationen vermögen die Technik zu revolutionieren, sie in größeren Sprüngen fortzuentwickeln. Ihre Integration in den gesamten Entwicklungsprozeß der Technik und ihre gesellschaftliche Akzeptanz hat zwangsläufig zur Folge, daß sie nur in größeren Zeitabständen auftreten.

Basisinnovationen stützen sich vornehmlich auf neue, grundlegende Erkenntnisse der Ingenieur- und Naturwissenschaften. Die insbesondere in den letzten hundert Jahren beobachtete Entwicklung dieser Wissenschaften hat ihre Voraussetzung für Basisinnovationen immer deutlicher hervortreten lassen. Wer über ein großes Potential an Grundlagenwissen verfügt, besitzt bereits eine der beiden Voraussetzungen für große innovative Leistungen. Die zweite, nicht minder bedeutsame Voraussetzung ist ein kreativer Geist, der aus wissenschaftlich begründeten Möglichkeiten technische Realitäten schafft. Basisinnovationen werden dort ihren Ursprung finden, wo das notwendige Potential an Grundlagenwissen vorhanden ist. Dieses ist in erster Linie in den Instituten der Universitäten und, in geringerem Maße, in industriellen Forschungszentren der Fall.

Jede Idee, die in einer Innovation ihre Realisation findet, hat Bezug zu vorausgegangenen. Aber jede Innovation muß über diesen Bezug hinaus etwas Neues und Eigenständiges beinhalten. Anderenfalls fände die Innovationskette sonst keine Fortsetzung. Innovatorische Leistung setzt eine möglichst umfassende Beherrschung wissenschaftlicher Grundlagen und einen kreativen Geist voraus. Kreativität wird hier als Integration, als Symbiose, von Intuition und Rationalität aufgefaßt. Dabei ist Intuition stets etwas Einmaliges, nicht Wiederholbares, nicht Kontrollierbares und auch nicht Programmierbares und Planbares. Im Gegensatz dazu ist die Rationalität höchster Ausdruck für das Nachvollziehbare, das Wiederhol- und Kontrollierbare, das Programmier- und Planbare.

Kreativität erwächst aus dem Widersprüchlichen, aus geistiger Freiheit für die Intuition und geistiger Bindung und Disziplin in der Rationalität. Letztere sorgt dafür, daß die Bäume der Intuition nicht in den Himmel wachsen. Kreativität muß sich in dem hier betrachteten Zusammenhang, in der technischen Welt entfalten, denn hier ist sie dem Menschen dienlich.

Die Aufgabe der Innovationstechnik besteht darin, den Innovationsprozeß mit Hilfe der Rationalität zielgerichtet in Gang zu setzen, so daß ein hoher Grad von geistiger Anregung als Voraussetzung für die intuitive Erfassung innovativer Möglichkeiten erreicht wird. Rationalität wird somit bewußt als Vehikel der Kreativität genutzt. Intuition erwächst aus geistiger Bewegung und Unruhe, die von der Rationalität bewußt geschaffen wird.

Die großen Probleme, die der Verfahrenstechnik gesetzt sind, lassen sich nur durch den vollen Einsatz aller kreativen Kräfte lösen. Der Kreativität und ihres bewußten Einsatzes wird eine immer größere Rolle zukommen. Die Förderung der Kreativität von Studenten wird für die Universitäten im Rahmen ihrer Ausbildungsaufgaben stärker als bislang zu beachten sein [13].

Es ist die Kreativität, die, aus geistiger Unrast erwachsen, den Wandel in unserem Dasein gewährleistet. Die Verfahrenstechnik nimmt an diesem Wandel aktiv teil und erfährt dabei selbst ihren Wandel.

Literatur

- [1] H. Brauer: Beiträge der Verfahrenstechnik zur Gestaltung unserer Zukunft; erschienen in: Technischer Fortschritt sichert die Zukunft, S. 273/298; VDI-Verlag, Düsseldorf 1985.
- [2] H. Brauer: Verfahrenstechnik und GVC im Ausklang des 20. Jahrhunderts. Ein Beitrag aus der Sicht der Universität; erschienen in: VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen – gestern – heute – morgen, S. 128/141; Verein Deutscher Ingenieure, Graf-Recke-Straße 84, Düsseldorf 1, 1984.
- [3] H. Brauer: Von der chemischen zur mikrobiologischen Stoffumwandlung; Swiss Biotech 3 (1985) 5, S. 27/41.
- [4] E.H. Honwink: A realistic view on biotechnology; Dechema, Frankfurt am Main, 1984.
- [5] K.H. Büchel: Die Zukunft der Biotechnologie in der industriellen Nutzung; Wissenschaftsmagazin Heft 7, S. 35/40, Technische Universität Berlin 1985.

- [6] H. Dellweg: Biotechnologie – Zusammenarbeit zwischen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren; Wissenschaftsmagazin Heft 7, S. 5/10, Technische Universität Berlin 1985.
- [7] F.D. Althoff: Messen, Steuern, Regeln, leistungsentscheidende Schlüsselfunktionen zukunfts gesicherter Technik; erschienen in: Technischer Fortschritt sichert die Zukunft, S. 59/86; VDI-Verlag, Düsseldorf 1985.
- [8] W. Leonhard: Zur Entwicklung der Regelungstechnik; Regelungstechnische Praxis 25 (1983) 4, S. 131/136.
- [9] K.-H. Lindackers: Sicherheitsanalyse in modernen Technologien, ihre Bewertung und Grenzen; Tagungsbericht Ifd-Kolloquium, Verlag TÜV-Rheinland GmbH 1973.
- [10] O. Schwarz: Luftreinhaltung – Eine internationale Aufgabe des Ingenieurs in Gegenwart und Zukunft; erschienen in: Technischer Fortschritt sichert die Zukunft, S. 365/398; VDI-Verlag, Düsseldorf 1985.
- [11] H. Brauer: Beiträge von Forschung und Entwicklung zur Lösung von Problemen der Luftreinhaltung; Staub-Reinhaltung der Luft 45 (1985) 9, S. 402/408.
- [12] H. Brauer: Methodik des Innovierens im verfahrenstechnischen Gerätebau; Fabrik der Zukunft, Verlag für Technik und Wirtschaft, Wiesbaden 1987.
- [13] H. Brauer: Innovationstechnik; Schweizer Ingenieur und Architekt (1985) 6, S. 103/113.